

# ПРОХОЖДЕНИЕ ИМПУЛЬСА ФАЗЫ ЧЕРЕЗ ОДИНОЧНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

И.М. Лернер<sup>1</sup>, Г.И. Ильин<sup>2</sup>  
(Казань, КНИТУ-КАИ, aviap@mail.ru<sup>1</sup> igivm@mail.ru<sup>2</sup>)

## THE PHASE PULSE PASSAGE THROUGH A SINGLE OSCILLATORY CIRCUIT

I.M. Lerner, I.G. Il'in

В работе представлены результаты анализа прохождения импульса фазы для двух значений фазового скачка через настроенную узкополосную линейную систему (УЛС) на примере высокочастотного одиночного колебательного контура (ОКК). Определены основные особенности.

Под импульсом фазы понимается импульс, образованный двумя скачками фазы от 0 к  $\varphi$  и от  $\varphi$  к 0 или от  $-\theta$  к  $+\theta$  и от  $+\theta$  к  $-\theta$  гармонического колебания. Примеры импульса фазы, сформированного скачками фазы от 0 к  $\varphi$  и от  $\varphi$  к 0 представлены: для значения  $\varphi = 180^\circ$  на рисунке 1 (а) и для значения  $\varphi = 90^\circ$  на рисунке 2 (а).

При исследовании полагается, что длительность импульса фазы больше длительности переходного процесса, вызванного скачком фазы гармонического колебания, т.е. УЛС находится в стационарном состоянии перед следующим скачком фазы на её входе.

Изменение огибающей  $H(t)$ , медленно меняющейся фазы  $\psi(t)$  и мгновенной частоты  $\omega(t)$  результирующего колебания переходного процесса при скачке фазы от 0 к  $\varphi$  гармонического колебания на входе ОКК (время скачка полагается равным  $t = 0$ ) описывается следующими выражениями, в соответствии с [1]:

$$H(t) = \left[ (1 - \exp(-\Delta\Omega t))^2 + 2 \cos(\varphi) (\exp(-\Delta\Omega t) - \exp(-2\Delta\Omega t)) + \exp(-2\Delta\Omega t) \right]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} \arctg(\operatorname{Im} \dot{H}(t) / \operatorname{Re} \dot{H}(t)), & \varphi \in [0, \pi/2]; \\ \arctg(\operatorname{Im} \dot{H}(t) / \operatorname{Re} \dot{H}(t)) \text{ при } t \leq t_{\text{пер}}, & \varphi \in (\pi/2, \pi]; \\ \pi - \arctg(\operatorname{Im} \dot{H}(t) / |\operatorname{Re} \dot{H}(t)|) \text{ при } t > t_{\text{пер}}, & \varphi \in (\pi/2, \pi]; \\ -\arctg(|\operatorname{Im} \dot{H}(t)| / \operatorname{Re} \dot{H}(t)) \text{ при } t < t_{\text{пер}}, & \varphi \in (\pi, 3\pi/2); \\ -\pi + \arctg(\operatorname{Im} \dot{H}(t) / \operatorname{Re} \dot{H}(t)) \text{ при } t \geq t_{\text{пер}}, & \varphi \in (\pi, 3\pi/2); \\ -\arctg(|\operatorname{Im} \dot{H}(t)| / \operatorname{Re} \dot{H}(t)), & \varphi \in [3\pi/2, 2\pi]. \end{cases} \quad (2)$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \frac{\Delta\Omega \exp(-\Delta\Omega t) \sin(\varphi)}{1 + 2 \exp(-\Delta\Omega t) (\cos(\varphi) - 1) (1 - \exp(-\Delta\Omega t))}, \quad (3)$$

где  $\operatorname{Im} \dot{H}(t) = \sin(\varphi)(1 - \exp(-\Delta\Omega t))$ ,  $\operatorname{Re} \dot{H}(t) = \cos(\varphi)(1 - \exp(-\Delta\Omega t)) + \exp(-\Delta\Omega t)$ ;  $\Delta\Omega$  - половина полосы пропускания;  $t_{\text{пер}} = \ln(1 - [\cos(\varphi)]^{-1}) / \Delta\Omega$  - время изменения знака  $\operatorname{Re} \dot{H}(t)$ , т.е. время перехода между четвертями медленно меняющейся фазы  $\psi(t)$  при  $\varphi \in (\pi/2, 3\pi/2)$ ;  $\omega_0$  - частота гармонического колебания, действующего на входе ОКК, равная резонансной частоте ОКК. При  $\varphi = 180^\circ$  выражение для мгновенной частоты имеет вид  $\omega(t) = \omega_0 + \pi\delta(t - t_{\text{пер}})$ . При скачке фазы от  $360^\circ$  ( $0^\circ$ ) к  $180^\circ$  (т.е.  $\varphi_1 = -180^\circ$ ) медленно меняющаяся фаза равна  $\psi_1(t) = -\psi(t)|_{\varphi=\pi}$ , огибающая определяется с помощью выражения (1), с учетом того, что значение фазового скачка равно  $\varphi = 360^\circ - 180^\circ = 180^\circ$ , а мгновенная частота в этом случае будет равна  $\omega(t) = \omega_0 - \pi\delta(t - t_{\text{пер}})$ . При построении на рисунках 1 и 2 использовалась  $\gamma(t)$  - фаза результирующего колебания переходного процесса на выходе ОКК, учитывающая его начальную фазу. В данном случае при скачке фазы от 0 к  $\varphi$   $\gamma(t) = \psi(t)$ .

Изменение огибающей при скачке фазы от  $\varphi$  к 0 (время скачка фазы полагается  $t_0$ ) описывается с помощью выражения (1) при  $t \geq t_0$ , где переменная  $t$  заменяется на  $t-t_0$ , а значение фазового скачка определяется как  $\varphi = 360^\circ - \varphi_0$ , где  $\varphi_0$  – величина фазового скачка при скачке от 0 к  $\varphi$ .

Выражение, описывающее изменение фазы результирующего колебания, при скачке от  $\varphi$  к 0, имеет вид

$$\gamma(t-t_0) = \varphi_0 + \psi(t-t_0) \Big|_{\varphi=360^\circ-\varphi_0}, \text{ при } t \geq t_0. \quad (4)$$

При скачке фазы от  $360^\circ$  ( $0^\circ$ ) к  $180^\circ$  (т.е.  $\varphi_1 = -180^\circ$ ) фаза результирующего колебания при  $t \geq t_0$  будет равна  $\gamma(t-t_0) = \varphi_0 + \psi_1(t-t_0)$ , где  $\psi_1(t-t_0) = -\psi(t-t_0) \Big|_{\varphi=\pi}$ .

Выражение, описывающее изменение мгновенной частоты при скачке фазы от  $\varphi$  к 0 и  $t \geq t_0$  имеет вид

$$\omega(t) = \omega(t-t_0) \Big|_{\varphi=360^\circ-\varphi_0}. \quad (5)$$

Для  $\varphi_0 = 180^\circ$  оно равно  $\omega(t) = \omega_0 - \pi\delta(t-(t_{nep}+t_0))$ , а для  $\varphi_0 = \varphi_1 = -180^\circ$   $\omega(t) = \omega_0 + \pi\delta(t-(t_{nep}+t_0))$  при  $t \geq t_0$ .

На рисунках 1 и 2 представлены временные диаграммы, построенные с учетом вышесказанного, и характеризующие прохождение импульса фазы через ОКК, для двух значений фазового скачка гармонического колебания  $\varphi = 180^\circ$  и  $\varphi = 90^\circ$ .

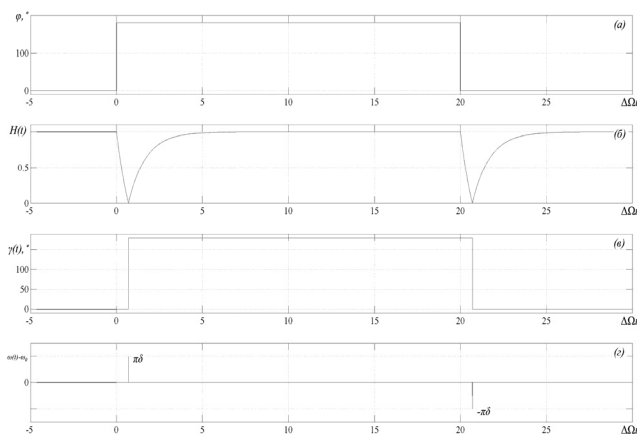


Рис. 1. Временные диаграммы импульса фазы (а) на входе ОКК, огибающей (б), фазы (в), мгновенной частоты (г) переходного процесса, вызванного прохождением импульса фазы через ОКК. Длительность импульса фазы  $20\Delta\Omega$ , значение фазового скачка  $\varphi^* = 180$ .

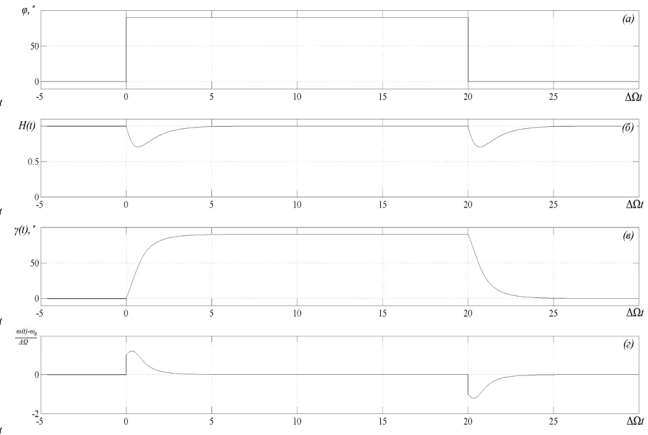


Рис. 2. Временные диаграммы импульса фазы (а) на входе ОКК, огибающей (б), фазы (в), мгновенной частоты (г) переходного процесса, вызванного прохождением импульса фазы через ОКК. Длительность импульса фазы  $20\Delta\Omega$ , значение фазового скачка  $\varphi^* = 90$ .

Анализируя прохождение импульса фазы через ОКК с длительностью больше длительности переходного процесса, вызванного скачком фазы гармонического колебания, можно отметить следующие особенности: 1) на выходе ОКК формируется радиоимпульс с частотой гармонического колебания и коэффициентом модуляции равным единице при скачке фазы  $180^\circ$  и меньшим единице при  $90^\circ$ ; 2) длительность радиоимпульса равна длительности импульса фазы; 3) задержка радиоимпульса не зависит от значения скачка фазы и равна времени достижения огибающей своего минимального значения  $t_{H\min} = \ln 2 / \Delta\Omega$  [1]; 4) задний фронт радиоимпульса короче переднего.

### Литература

1. Лернер И.М. Переходные процессы в колебательном контуре при скачкообразных изменениях фазы / И.М. Лернер, Г.И. Ильин // Радиотехника и электроника, 2010. – Т.55. – №12. – С.1482 – 1487.